

## MAKROZOOBENTOS SEBAGAI BIOINDIKATOR KUALITAS PERAIRAN DI PESISIR PULAU MERAK BESAR, PROVINSI BANTEN

### *Macrozoobenthos as a Bioindicator of Water Quality in the Coastal Waters of Merak Besar Island, Banten Province*

Farhan Randi Darmawan<sup>1)</sup>, Muta Ali Khalifa<sup>1,2)</sup>, Erik Munandar<sup>1,2)</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

<sup>2</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Raya Palka Km 3 Sindangsari, Pabuaran, Kabupaten Serang, 42163, Indonesia

<sup>\*</sup>)Korespondensi: [ma.khalifa@untirta.ac.id](mailto:ma.khalifa@untirta.ac.id)

### ABSTRAK

Tingginya aktivitas manusia di kawasan pesisir Pulau Merak Besar, Provinsi Banten, seperti wisata, pelabuhan, dan industri dapat berpotensi menurunkan kualitas perairan dan memengaruhi biota dasar perairan yang berperan sebagai penanda biologis kesehatan ekosistem pesisir. Penelitian ini bertujuan mendeskripsikan karakteristik fisika-kimia perairan, bahan organik total (BOT), tekstur sedimen, dan struktur komunitas makrozoobentos, serta menentukan kondisi ekologis perairan melalui pendekatan bioindikator makrozoobentos berdasarkan metode AMBI (*AZTI's Marine Biotic Index*). Penelitian dilakukan secara spasial pada Januari 2026 di 4 stasiun pengamatan menggunakan transek kuadrat 1x1 m<sup>2</sup> dengan jumlah ulangan berbeda tiap stasiun, disertai pengukuran suhu, pH, DO, salinitas, Bahan Organik Total (BOT), dan tekstur sedimen, serta analisis bioindikator menggunakan indeks AMBI. Hasil menunjukkan parameter fisika-kimia perairan pada seluruh stasiun masih tergolong stabil dan memenuhi baku mutu air laut, meski DO di salah satu stasiun berada tepat pada ambang minimum. Ditemukan 20 jenis makrozoobentos, terdiri atas Group II (indiferen), Group III (toleran), dan Group IV (oportunistik), tanpa jenis dari Group I maupun V, dengan *Littoraria lutea* tercatat memiliki kelimpahan tertinggi. Kelimpahan makrozoobentos berkisar 558-1.171 ind/m<sup>2</sup>, tertinggi pada stasiun paling minim aktivitas manusia. Keanekaragaman jenis tergolong sedang, keseragaman tinggi, dan dominansi rendah di seluruh stasiun. Meskipun kondisi fisika-kimia layak bagi makrozoobentos, nilai AMBI seluruh stasiun justru mengindikasikan kategori sedikit tercemar, didominasi Group III. Hal ini menegaskan makrozoobentos mampu mendeteksi tekanan ekologis yang belum tertangkap parameter fisika-kimia sesaat, sehingga dapat dijadikan salah satu metode penilaian kondisi lingkungan pesisir Pulau Merak Besar.

**Kata kunci:** AMBI, bahan organik total (BOT), komunitas bentik, *Littoraria lutea*

### ABSTRACT

*High human activity in the coastal area of Merak Besar Island, Banten Province, such as tourism, port, and industrial activities, potentially degrades water quality and affects benthic organisms that serve as biological indicators of coastal ecosystem health. This study aimed to describe the physicochemical characteristics of the water, total organic matter (TOM), sediment texture, and macrozoobenthos community structure, and to determine the ecological*

*condition of the waters using a macrozoobenthos bioindicator approach based on the AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) method. Research was conducted spatially in January 2026 at four stations using 1x1 m<sup>2</sup> quadrat transects with different numbers of replicates per station, along with measurements of temperature, pH, DO, salinity, TOM, and sediment texture. Results showed physicochemical parameters at all stations remained stable and met seawater quality standards, although DO at one station was exactly at the minimum threshold. Twenty macrozoobenthos species were identified, comprising Group II (indifferent), Group III (tolerant), and Group IV (opportunistic) species, with no Group I or V species recorded, while *Littoraria lutea* had the highest abundance. Abundance ranged from 558-1,171 ind/m<sup>2</sup>, highest at the least disturbed station. Species diversity was moderate, evenness high, and dominance low across all stations. Although physicochemical conditions were suitable for macrozoobenthos, AMBI values at all stations indicated a slightly polluted category, dominated by Group III. This confirms that macrozoobenthos can detect ecological stress not yet captured by instantaneous physicochemical parameters, making it a useful method for assessing the coastal environmental condition of Merak Besar Island.*

**Keywords:** *AMBI, benthic community, *Littoraria lutea*, total organic matter (TOM)*

## 1. PENDAHULUAN

Pulau Merak Besar di Selat Sunda merupakan salah satu destinasi wisata yang letaknya berdekatan dengan kawasan industri Cilegon dan Pelabuhan Eksekutif Merak. Kedekatan dengan aktivitas industri dan pelabuhan tersebut berpotensi meningkatkan risiko pencemaran perairan di sekitarnya, baik berupa peningkatan bahan organik maupun logam berat, yang dapat memengaruhi parameter fisika-kimia perairan seperti pH, suhu, dan oksigen terlarut (DO), serta berdampak pada kehidupan biota akuatik (Harahap *et al.*, 2020).

Salah satu kelompok biota akuatik yang terdampak adalah makrozoobentos, yang bersifat relatif menetap di dasar perairan sehingga peka terhadap perubahan bahan organik, karakteristik sedimen, dan bahan pencemar di lingkungannya (Aulia *et al.*, 2020). Sifat ini menjadikan makrozoobentos sebagai bioindikator yang mampu mencerminkan kondisi lingkungan dalam jangka waktu lebih panjang dibandingkan pengukuran fisika-kimia yang bersifat sesaat (Purba, 2022).

Berdasarkan tingkat toleransinya terhadap pencemaran, makrozoobentos

dikelompokkan menjadi kelompok toleran, indiferen, dan sensitif, yang masing-masing menunjukkan respons berbeda terhadap perubahan kualitas perairan. Klasifikasi ini digunakan dalam indeks AMBI (*AZTI's Marine Biotic Index*), salah satu metode penilaian bioindikator laut berdasarkan respons ekologis makrozoobentos terhadap gangguan atau pencemaran (Marcelino *et al.*, 2023). Dengan demikian, perubahan struktur komunitas makrozoobentos, termasuk komposisi kelompok toleransinya, dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan kualitas perairan (Nurhaliza *et al.*, 2025).

Kajian mengenai makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas perairan telah banyak dilakukan di berbagai ekosistem pesisir Indonesia, namun hingga saat ini belum ditemukan adanya penelitian serupa yang dilakukan di pesisir Pulau Merak Besar, meskipun lokasi ini menerima tekanan bersamaan dari aktivitas wisata, kawasan mangrove, dan pelabuhan yang berpotensi memengaruhi kehidupan makrozoobentos di dalamnya. Penelitian terdahulu pada lokasi lain umumnya juga belum menghubungkan secara eksplisit komposisi kelompok ekologis makrozoobentos berdasarkan indeks AMBI

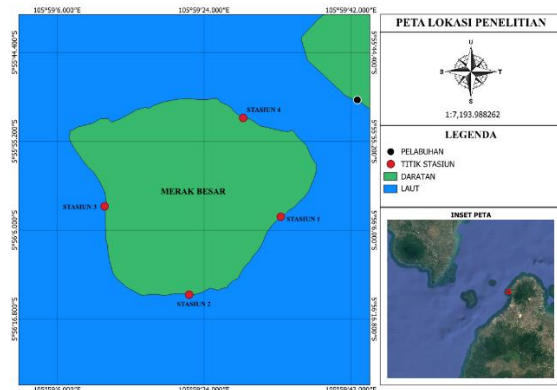
(*AZTI's Marine Biotic Index*) dengan kondisi fisika-kimia perairan dan karakteristik sedimen pada lokasi dengan gradien tekanan antropogenik seperti di Pulau Merak Besar. Kondisi inilah yang mendasari perlunya kajian mengenai makrozoobentos sebagai bioindikator berbasis indeks AMBI yang diperkuat dengan data fisika-kimia perairan dan karakteristik sedimen, guna menggambarkan kondisi lingkungan pesisir Pulau Merak Besar secara lebih menyeluruh. Dengan demikian, penelitian ini merupakan kajian awal (*baseline*) mengenai kondisi komunitas makrozoobentos di lokasi tersebut, sekaligus menjadi yang pertama mengintegrasikan pendekatan AMBI dengan parameter fisika-kimia dan karakteristik sedimen pada gradien tekanan antropogenik di Pulau Merak Besar. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan karakteristik fisika-kimia perairan (suhu, pH, DO, dan salinitas), kandungan bahan organik total (BOT), dan tekstur sedimen, serta mendeskripsikan struktur komunitas makrozoobentos di perairan Pulau Merak Besar. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi ekologis perairan melalui pendekatan bioindikator makrozoobentos berdasarkan metode AMBI (*AZTI's Marine Biotic Index*).

## 2. METODE PENELITIAN

### Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2026. Lokasi pengambilan sampel penelitian ini dilakukan di pesisir Pulau Merak Besar, Kecamatan Pulomerak, Kota Cilegon, Provinsi Banten. Analisis sampel makrozoobentos dilakukan di Laboratorium Manajemen Sumberdaya Perairan, Program Studi Ilmu Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten. Analisis sampel sedimen dilakukan di Laboratorium Produktivitas dan

Lingkungan Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Penelitian

### Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan kebutuhan pengambilan sampel, pengukuran parameter lingkungan, serta identifikasi makrozoobentos. Alat yang digunakan meliputi pipa paralon untuk mengambil sedimen dan makrozoobentos, ayakan 1 mm untuk menyaring sedimen, tali, meteran, dan patok untuk membuat transek, coolbox untuk penyimpanan sampel, alat tulis untuk pencatatan data, handphone untuk dokumentasi, plastik ziplock sebagai wadah penyimpanan sampel, serta tisu untuk membersihkan alat. Bahan yang digunakan terdiri atas alkohol 70% sebagai pengawet sampel, serta aquades untuk membilas alat laboratorium. Pengukuran parameter fisika-kimia perairan dilakukan menggunakan pH meter, DO meter, termometer, dan refraktometer, sedangkan identifikasi makrozoobentos dilakukan dengan mengacu pada buku panduan identifikasi yang digunakan oleh Arbi *et al.*, (2022).

### Metode Penelitian

Metode penelitian yang diterapkan dalam studi ini adalah analisis deskriptif kuantitatif, dimana data yang berkaitan dengan makrozoobentos sebagai

bioindikator kualitas perairan yang terdapat di pesisir Pulau Merak Besar. Metode deskriptif kuantitatif bertujuan untuk menyajikan gambaran objektif mengenai suatu fenomena tertentu dengan ruang lingkup yang terbatas, serta mengidentifikasi sejauh mana fenomena tersebut dapat dipengaruhi atau dikendalikan oleh berbagai bentuk intervensi yang dilakukan dalam proses penelitian (Marhasova *et al.*, 2022).

### Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini mencakup pengumpulan data makrozoobentos serta parameter fisika-kimia perairan yang dilaksanakan langsung di wilayah pesisir Pulau Merak Besar menggunakan metode survei untuk memperoleh gambaran kondisi ekosistem perairan secara komprehensif. Penentuan stasiun pengambilan data dilakukan dengan teknik purposive sampling, yaitu penentuan lokasi berdasarkan pertimbangan tertentu yang dianggap mewakili karakteristik area penelitian (Ramadani *et al.*, 2025). Pengumpulan data dilakukan pada 4 stasiun dengan karakteristik berbeda. Stasiun 1 mewakili area dengan aktivitas wisata tinggi, Stasiun 2 terletak di pesisir kawasan hutan mangrove, Stasiun 3 dipilih karena minim aktivitas di sekitarnya, dan Stasiun 4 berhadapan langsung dengan pelabuhan serta dilalui jalur pelayaran kapal domestik.

### Pengambilan sampel makrozoobentos

Pengambilan sampel makrozoobentos dalam penelitian ini dilakukan dengan menentukan titik pengamatan pada interval 100 m, mengacu pada metode Bai'un *et al.*, (2021) yang kemudian dimodifikasi berdasarkan kondisi dan karakteristik wilayah penelitian. Pengambilan sampel dilakukan pada zona intertidal saat kondisi air surut, sehingga area dasar perairan dapat diamati dan dijangkau secara langsung. Penentuan jarak antarstasiun tersebut dimaksudkan untuk memperoleh representasi kondisi komunitas

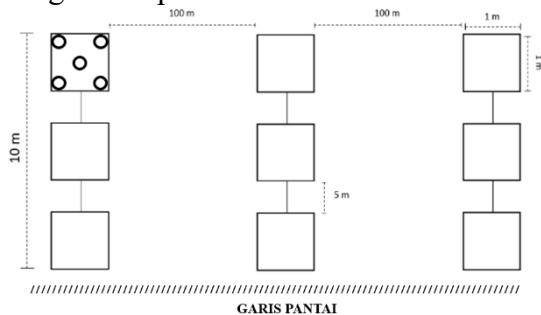
makrozoobentos pada bagian pesisir yang memiliki karakteristik lingkungan berbeda. Pemilihan zona intertidal juga mempertimbangkan keberadaan makrozoobentos yang umumnya berasosiasi dengan substrat dasar, sehingga pengambilan sampel dapat dilakukan secara lebih efektif dan kondisi habitat organisme dapat diamati secara langsung. Selain itu, waktu pengambilan pada saat surut bertujuan untuk mempermudah proses pengambilan sampel serta meminimalkan pengaruh perubahan kondisi perairan selama proses sampling.

Pada setiap stasiun tersebut, jumlah ulangan pengamatan disesuaikan dengan kondisi dan luas area yang tersedia, yaitu sebanyak 5 ulangan di Stasiun 1, 4 ulangan di Stasiun 2, 5 ulangan di Stasiun 3, dan 3 ulangan di Stasiun 4. Perbedaan jumlah ulangan antarstasiun ini disebabkan oleh keterbatasan luas area yang dapat disampling, karena sebagian area di beberapa stasiun dibatasi oleh keberadaan tebing dan bebatuan sehingga tidak memungkinkan untuk dijadikan titik pengamatan tambahan.

Setiap ulangan memiliki panjang 10 m dan dipasang tegak lurus terhadap garis pantai. Panjang tersebut ditetapkan berdasarkan kondisi lapangan, karena setelah jarak 10 m, dasar perairan mulai memasuki area tubir pantai. Di sepanjang setiap ulangan ditempatkan tiga transek kuadrat berukuran 1x1 m<sup>2</sup> dengan jarak antartransek kuadrat sebesar 5 m, yaitu satu transek kuadrat pada bagian dekat darat, satu pada bagian tengah, dan satu pada bagian dekat tubir.

Pada setiap transek kuadrat dilakukan pengambilan sampel makrozoobentos menggunakan pipa paralon berdiameter 3 inci dan panjang 40 cm untuk memperoleh sampel infauna. Pipa ditancapkan ke dalam substrat hingga kedalaman 20 cm, kemudian diangkat secara perlahan untuk meminimalkan organisme yang terlepas dari sampel. Pengambilan sampel dengan pipa dilakukan pada lima titik (core) di

setiap transek kuadrat, yaitu pada empat sudut dan satu titik di bagian tengah. Kelima titik tersebut merupakan bagian dari prosedur sampling dalam satu transek kuadrat dan tidak diperlakukan sebagai ulangan independen.



Gambar 2. Ilustrasi Transek Kuadrat

Makrozoobentos epifauna diambil dari keseluruhan luas transek kuadrat berukuran  $1 \times 1 \text{ m}^2$ , sedangkan makrozoobentos infauna diambil dari lima titik core berdiameter 3 inci pada setiap transek kuadrat, dengan luas penampang pipa sebesar  $0,00456 \text{ m}^2$  per titik core. Hasil pengambilan dari lima titik core pada setiap transek kuadrat kemudian dijumlahkan, selanjutnya hasil dari tiga transek kuadrat dalam satu ulangan dijumlahkan untuk memperoleh satu data kelimpahan makrozoobentos per ulangan. Dengan demikian, ulangan ditetapkan sebagai unit pengamatan, sedangkan transek kuadrat dan titik core di dalamnya merupakan bagian dari prosedur sampling. Jumlah data yang diperoleh pada setiap stasiun mengikuti jumlah ulangan yang tersedia, yaitu 5 data pada Stasiun 1, 4 data pada Stasiun 2, 5 data pada Stasiun 3, dan 3 data pada Stasiun 4.

Kelimpahan makrozoobentos dinyatakan dalam satuan individu per meter persegi ( $\text{ind}/\text{m}^2$ ) berdasarkan luas area efektif pengambilan sampel, yang dihitung berbeda antara kelompok epifauna dan infauna agar sebanding dengan metode pengambilan sampel masing-masing kelompok. Untuk kelompok epifauna, luas area efektif dihitung berdasarkan luas keseluruhan tiga transek kuadrat dalam satu ulangan, yaitu  $3 \text{ m}^2$ . Untuk kelompok

infauna, luas area efektif (A) dihitung berdasarkan luas penampang pipa paralon dikalikan dengan jumlah total titik core dalam satu ulangan, yaitu 5 titik per transek kuadrat dikalikan 3 transek kuadrat (15 titik core), sehingga diperoleh luas area efektif sebesar  $0,00456 \times 15 = 0,0684 \text{ m}^2$  per ulangan, bukan berdasarkan luas keseluruhan transek kuadrat  $1 \times 1 \text{ m}^2$ . Luas area efektif total pada setiap stasiun kemudian diperoleh dengan mengalikan nilai tersebut dengan jumlah ulangan pada masing-masing stasiun, yaitu  $0,00456 \times 15 \times \text{jumlah ulangan}$ .

Sedimen yang diperoleh kemudian disaring menggunakan ayakan berukuran 1 mm langsung di tepi pantai untuk memudahkan pemisahan makrozoobentos dari material sedimen. Organisme yang tersisa di atas ayakan dipindahkan ke kantong plastik ziplock dan direndam alkohol 70% hingga terendam sempurna sebagai bahan pengawet, kemudian diberi label berisi informasi lokasi dan stasiun pengambilan agar tidak tertukar.

Sampel selanjutnya disimpan sementara di dalam coolbox sebelum dibawa ke laboratorium untuk diidentifikasi berdasarkan buku Fauna Bentos Ekosistem Pesisir Indonesia (Arbi *et al.*, 2022).

## Pengambilan Data Parameter Fisika dan Kimia Perairan

Tabel 1. Pengukuran faktor lingkungan perairan

| Parameter     | Satuan             | Metode Analisis/Alat     |
|---------------|--------------------|--------------------------|
| <b>Fisika</b> |                    |                          |
| Suhu          | $^{\circ}\text{C}$ | Termometer               |
| <b>Kimia</b>  |                    |                          |
| pH            | -                  | pH meter                 |
| DO            | $\text{mg/L}$      | DO meter                 |
| Salinitas     | ppt                | Refraktometer            |
| BOT           | %                  | Loss on Ignition/Furnace |

Data parameter fisika dan kimia perairan diperoleh dengan pengambilan

data secara langsung (in-situ) menggunakan termometer untuk mengukur suhu, pH meter untuk mengukur derajat keasaman, DO meter untuk menentukan nilai oksigen terlarut, *refraktometer* untuk memperoleh nilai salinitas, serta mengukur bahan organik total (BOT).

## Analisis Data

### 1) Kelimpahan

Kelimpahan makrozoobentos dihitung dengan menggunakan rumus menurut Brower *et al.*, (1990):

$$Di = \frac{ni}{A}$$

Keterangan:

Di = Kelimpahan individu jenis ke (ind/m<sup>2</sup>)

ni = Jumlah individu ke-i

A = Luas area pengamatan

### 2) Indeks Keanekaragaman

Nilai indeks keanekaragaman (H') mencapai maksimum ketika semua individu berasal dari genus atau spesies yang berbeda, sedangkan nilai minimum diperoleh ketika semua individu berasal dari satu genus atau spesies yang sama. Berikut ini rumus indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (Odum, 1993):

$$H' = -\sum Pi [\ln(Pi)]$$

Keterangan:

H' = Indeks Keanekaragaman

Pi = Perbandingan spesies ke-i (ni / N)

ni = Jumlah individu jenis ke-i

N = Jumlah total individu

Kriteria indeks keanekaragaman jenis menurut Shanon-Wiener:

H' < 1 = Keanekaragaman jenis rendah

1 < H < 3 = Keanekaragaman jenis sedang

H' > 3 = Keanekaragaman jenis tinggi

### 3) Indeks Keseragaman

Indeks keseragaman (*Evenness Index*) merupakan nilai yang menunjukkan

distribusi relatif spesies dalam suatu komunitas, yang diperoleh dari perbandingan antara keanekaragaman (H') dengan keanekaragaman potensial maksimum (Krebs, 1989).

$$E' = \frac{H'}{H'maks}$$

Keterangan:

E' = Indeks Keseragaman

H' = Indeks Keanekaragaman

Shannon-Wiener

H' maks = Nilai keragaman maksimum (ln S)

S = Jumlah spesies

Kriteria indeks keseragaman menurut Brower *et al.*, (1990) sebagai berikut:

E < 0,4 = Tingkat keseragaman rendah

0,4 < E < 0,6 = Tingkat keseragaman sedang

E > 0,6 = Tingkat keseragaman tinggi

### 4) Indeks Dominansi

Indeks dominansi merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan spesies yang dominan dalam suatu populasi. Menurut Odum (1993), indeks dominansi dapat digunakan untuk mengidentifikasi dominansi spesies tertentu, dengan rumus sebagai berikut:

$$C = \sum \left(\frac{ni}{N}\right)^2$$

Keterangan:

C = Indeks dominansi

Ni = Jumlah individu jenis ke-i

N = Jumlah keseluruhan individu

Kriteria indeks dominansi menurut Odum (1993) sebagai berikut:

0 < C ≤ 0,5 = Tidak ada jenis yang mendominasi

0,5 < C < 1 = Terdapat jenis yang mendominasi

### 5) Indeks AMBI (*AZTI's Marine Biotic Index*)

AMBI (*AZTI's Marine Biotic Index*) adalah suatu indeks biotik yang digunakan untuk menilai kondisi ekologis dari ekosistem laut, terutama pada komunitas sedimen dasar (bentik), dengan mempertimbangkan komposisi dari makrozoobentos.

Setiap takson makrozoobentos dikelompokkan ke dalam lima kelompok ekologis berdasarkan tingkat toleransinya terhadap pengayaan bahan organik dan gangguan lingkungan. Group I (spesies sensitif) merupakan kelompok spesies yang sangat sensitif terhadap pengayaan bahan organik dan hanya ditemukan pada lingkungan yang belum tercemar (kondisi awal). Kelompok ini mencakup karnivora spesialis dan beberapa Polychaeta pemakan deposit yang hidup di dalam tabung (Kristiana *et al.*, 2025). Group II (spesies indifere) merupakan kelompok spesies yang tidak menunjukkan respons terhadap pengayaan bahan organik dan selalu ditemukan dalam kepadatan rendah dengan perubahan yang tidak signifikan dari waktu ke waktu, mulai dari kondisi awal hingga sedikit mengalami ketidakseimbangan (Pramithasari *et al.*, 2025). Kelompok ini meliputi organisme pemakan suspensi, karnivora yang kurang selektif, dan pemakan bangkai, seperti *Cypraea tigris* dan *Monodonta labio*. Group III merupakan kelompok spesies yang toleran terhadap peningkatan bahan organik. Spesies dalam kelompok ini dapat ditemukan pada kondisi normal, tetapi populasinya meningkat ketika terjadi pengayaan bahan organik,

terutama pada kondisi sedikit mengalami ketidakseimbangan (Sahidin *et al.*, 2018). Kelompok ini umumnya terdiri atas organisme pemakan deposit permukaan, seperti Polychaeta dari kelompok Spionidae yang hidup di dalam tabung, seperti *Conus patricius* dan *Littorina littorea*. Group IV Spesies oportunistik tingkat kedua yang ditemukan pada kondisi lingkungan yang mengalami sedikit hingga cukup berat ketidakseimbangan. Kelompok ini terutama terdiri atas Polychaeta berukuran kecil yang memakan deposit di bawah permukaan sedimen (Hanafiah *et al.*, 2023), seperti *Engina zea* dan *Cominella lineolata*, sementara Group V merupakan kelompok Spesies oportunistik tingkat pertama yang umumnya ditemukan pada kondisi lingkungan yang mengalami ketidakseimbangan berat. Kelompok ini terdiri atas organisme pemakan deposit yang dapat berkembang dengan cepat pada sedimen yang mengalami kondisi reduktif atau kekurangan oksigen (Pramithasari *et al.*, 2025), contohnya seperti *Capitella capitata*.

Indeks ini dikembangkan oleh Borja *et al.*, (2000) dengan rumus sebagai berikut:

$$AMBI = \left\{ \frac{(0 \times \%GI) + (1,5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4,5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)}{100} \right\}$$

Keterangan:

- (G I) = kelompok "Spesies sensitif"
- (G II) = kelompok "Spesies indifere"
- (G III) = kelompok "Spesies toleran"
- (G IV) = kelompok "Spesies oportunistik 2"
- (G V) = kelompok "Spesies oportunistik 1"

Tabel 2. Interpretasi nilai AMBI (Sahidin *et al.*, 2018)

| Klasifikasi polusi | Koefisien biotik    | AMBI | Dominansi | Komunitas bentik           |
|--------------------|---------------------|------|-----------|----------------------------|
| Tidak tercemar     | $0,0 < BC \leq 0,2$ | 0    | I         | Normal                     |
| Tidak tercemar     | $0,2 < BC \leq 1,2$ | 1    |           | Miskin                     |
| Sedikit tercemar   | $1,2 < BC \leq 3,3$ | 2    | III       | Tidak seimbang             |
| Tercemar sedang    | $3,3 < BC \leq 4,3$ | 3    |           | Transisi ke tercemar       |
| Tercemar sedang    | $4,5 < BC \leq 5,0$ | 4    | IV-V      | Tercemar                   |
| Tercemar berat     | $5,0 < BC \leq 5,5$ | 5    |           | Transisi ke tercemar berat |
| Tercemar berat     | $5,5 < BC \leq 6,0$ | 6    | V         | Tercemar berat             |
| Sangat tercemar    | Azoic               | 7    | Azoic     | Azoic                      |

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Parameter Fisika dan Kimia Perairan

Parameter fisika dan kimia perairan merupakan faktor lingkungan utama yang memengaruhi keberadaan dan struktur komunitas makrozoobentos. Hasil pengukuran parameter kualitas air pada bulan Januari 2026 di Pulau Merak Besar, Provinsi Banten dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai hasil pengukuran parameter fisika dan kimia perairan

| Parameter       | Stasiun |      |      |      |
|-----------------|---------|------|------|------|
|                 | 1       | 2    | 3    | 4    |
| <b>Fisika</b>   |         |      |      |      |
| Suhu (°C)       | 30,4    | 31,0 | 31,8 | 32,0 |
| <b>Kimia</b>    |         |      |      |      |
| pH              | 7,3     | 7,1  | 7,8  | 7,3  |
| DO (mg/L)       | 5,0     | 5,3  | 5,7  | 5,5  |
| Salinitas (ppt) | 30      | 31   | 31   | 32   |

Suhu perairan selama penelitian berkisar 30,4-32,0°C, terendah di Stasiun 1 dan tertinggi di Stasiun 4, dengan selisih kecil yang menandakan kondisi termal relatif stabil. Suhu berperan mengendalikan proses fisiologis organisme seperti metabolisme, pertumbuhan, respirasi, dan reproduksi; peningkatan suhu dapat mempercepat metabolisme namun menurunkan daya larut oksigen dalam air, sehingga berdampak pada kelangsungan hidup organisme benthik (Humairani *et al.*, 2026). Rentang suhu 27-32°C masih tergolong sesuai untuk kehidupan makrozoobentos di perairan tropis (Nurhaliza *et al.*, 2025), dan sebagian besar organisme tersebut mampu beradaptasi pada suhu sekitar 30°C selama tidak terjadi perubahan ekstrem (Barus *et al.*, 2019).

Sementara itu, derajat keasaman (pH) yang diperoleh selama penelitian berada pada rentang 7,1-7,8, menandakan kondisi perairan yang cenderung netral hingga sedikit basa. Angka ini relatif seragam di seluruh stasiun, yang mengindikasikan kondisi kimia perairan cukup stabil. pH memegang peran penting dalam mengatur berbagai proses kimia dan biologis di lingkungan perairan, seperti aktivitas mikroorganisme, ketersediaan unsur hara, serta kelancaran metabolisme organisme akuatik. Perubahan pH yang keluar dari ambang toleransi berpotensi mengganggu proses fisiologis organisme sekaligus menurunkan

keanekaragaman biota benthik (Maula, 2018). Perairan dengan pH netral hingga sedikit basa umumnya lebih mampu menopang pertumbuhan dan aktivitas organisme benthik, karena kondisi tersebut turut menjaga kestabilan proses fisiologis dan biokimia (Ahmad *et al.*, 2024).

Adapun konsentrasi oksigen terlarut (DO) selama penelitian berkisar 5,0-5,7 mg/L, dengan angka tertinggi ditemukan di Stasiun 3 dan angka terendah di Stasiun 1. Oksigen terlarut merupakan salah satu parameter kunci yang menentukan kelangsungan hidup organisme akuatik, mengingat perannya dalam proses respirasi dan metabolisme. Fluktuasi konsentrasi DO dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya suhu, fotosintesis, pergerakan massa air, serta proses penguraian bahan organik (Alfatihah *et al.*, 2022). Kadar DO minimal 5 mg/L pada dasarnya sudah memenuhi kebutuhan sebagian besar biota perairan (Silaban & Silalahi, 2021). Perairan dengan kandungan oksigen terlarut yang memadai umumnya memiliki komunitas makrozoobentos yang lebih beragam dan stabil (Idris *et al.*, 2025).

Nilai salinitas yang terukur berada pada kisaran 30-32 ppt, dengan tingkat variasi antarstasiun yang tergolong kecil, sehingga mencerminkan karakteristik perairan laut tropis yang relatif stabil. Salinitas berperan dalam menjaga keseimbangan osmotik organisme, sekaligus turut menentukan pola distribusi, kelimpahan, dan susunan komunitas makrozoobentos. Perubahan salinitas yang berlangsung secara drastis dapat memicu tekanan fisiologis pada organisme, yang pada akhirnya membatasi penyebaran spesies tertentu (Nurtika, 2024). Komunitas makrozoobentos di perairan laut umumnya berkembang dengan baik pada kondisi salinitas yang stabil, sesuai karakteristik habitatnya (Agustina, 2022). Oleh sebab itu, kisaran salinitas yang diperoleh pada penelitian ini masih tergolong berada dalam batas toleransi makrozoobentos, yaitu sekitar 15-45 ppt.

Secara keseluruhan, kondisi fisika-kimia perairan di Pulau Merak Besar masih memenuhi baku mutu air laut untuk biota laut berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004. Nilai pH di seluruh stasiun berada dalam kisaran baku mutu 7,0-8,5, dan oksigen terlarut memenuhi standar minimum  $\geq 5$  mg/L, meski di Stasiun 1 berada tepat pada

batas ambang. Suhu dan salinitas juga mencerminkan karakteristik perairan laut tropis yang stabil dan belum menjadi faktor pembatas bagi organisme benthik. Dengan demikian, kualitas perairan Pulau Merak Besar masih layak sebagai habitat makrozoobentos serta mendukung fungsi ekologis ekosistem pesisir.

### Karakteristik Komposisi Sedimen dan Bahan Organik Total

Karakteristik komposisi sedimen dan kandungan bahan organik total (BOT) merupakan komponen lingkungan penting dalam menentukan keberadaan dan pola distribusi makrozoobentos, mengingat organisme benthik sangat bergantung pada kondisi dasar perairan baik sebagai habitat maupun sumber nutrisi (Azuga *et al.*, 2025). Data hasil analisis komposisi sedimen dan BOT pada lokasi penelitian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi karakteristik substrat dan Bahan Organik Total (BOT)

|   | BOT (%) | Komposisi (%) |       |      | Substrat      |
|---|---------|---------------|-------|------|---------------|
|   |         | Pasir         | Debu  | Liat |               |
| 1 | 2,29    | 79,21         | 19,21 | 1,58 | Pasir Berdebu |
| 2 | 1,94    | 78,71         | 19,69 | 1,60 | Pasir Berdebu |
| 3 | 2,32    | 78,94         | 19,53 | 1,53 | Pasir Berdebu |
| 4 | 1,96    | 78,48         | 19,90 | 1,62 | Pasir Berdebu |

Kandungan Bahan Organik Total (BOT) dalam sedimen di Pulau Merak Besar berada pada rentang 1,94-2,32%, dengan angka tertinggi di Stasiun 3 dan terendah di Stasiun 2. Selisih nilai yang tidak terlalu jauh ini mengindikasikan sebaran bahan organik yang cenderung merata antarstasiun. Kandungan bahan organik dipengaruhi oleh sisa organisme mati, guguran vegetasi, limbah rumah tangga, dan pengendapan dari kolom air, serta berperan sebagai sumber energi dan nutrisi bagi biota benthik. Namun, jika berlebihan, penguraiannya oleh mikroorganisme dapat menyerap banyak oksigen sehingga menurunkan kualitas habitat benthik (Kurtarkar *et al.*, 2024). Seluruh nilai BOT yang ditemukan masih tergolong rendah (<3,5%), menandakan belum ada tanda pengayaan bahan organik secara berlebihan (Aulia *et al.*, 2020). Kondisi ini menguntungkan

karena tidak memicu hipoksia, namun rendahnya bahan organik juga dapat membatasi ketersediaan makanan bagi makrozoobentos, terutama kelompok detritivor dan deposit feeder, sehingga berpotensi memengaruhi kelimpahan dan biomasnya (Purba, 2022).

Berdasarkan tekstur sedimen, seluruh stasiun penelitian didominasi oleh jenis sedimen pasir dengan komposisi 78,48-79,21%, diikuti debu sebesar 19,21-19,90%, sedangkan liat hanya 1,53-1,62%, sehingga substrat dasar pada seluruh stasiun tergolong pasir berdebu. Perbedaan proporsi ini terjadi karena setiap ukuran butir sedimen memiliki daya tahan yang berbeda terhadap energi gelombang, arus, dan pasang surut di perairan tersebut. Butiran pasir yang lebih besar dan berat lebih cepat jatuh dan mengendap di dasar, sehingga tetap tertinggal meskipun kondisi perairan masih cukup berenergi (Naufalina *et al.*, 2022). Sebaliknya, butiran debu dan liat yang jauh lebih halus dan ringan lebih mudah terangkat kembali ke dalam air begitu ada gerakan arus atau gelombang, sehingga akhirnya tersapu dan terbawa keluar dari lokasi tersebut. Debu dan liat hanya bisa benar-benar mengendap dan tertinggal di dasar apabila kondisi perairan sangat tenang, tanpa gangguan arus maupun gelombang (Afiyah, 2024). Dengan demikian, dominasi pasir serta rendahnya debu dan liat diduga mengindikasikan bahwa perairan Pulau Merak Besar memiliki energi hidrodinamika sedang hingga cukup tinggi, yang secara alami dapat menyortir sedimen dan berpotensi menyisakan fraksi kasar sebagai penyusun utama substrat dasar.

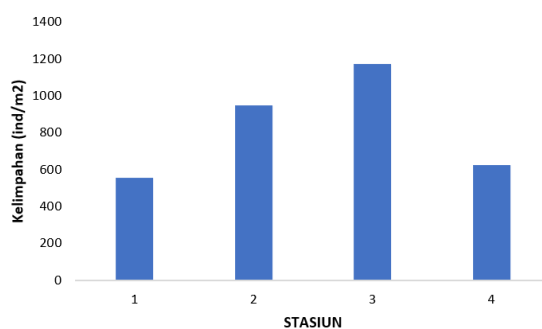
Kondisi substrat penting bagi makrozoobentos karena ukuran dan komposisi butir sedimen menentukan ketersediaan ruang hidup, kestabilan substrat, serta kondisi lingkungan di dalam sedimen (Isnaini *et al.*, 2026). Substrat pasir berdebu dapat menjadi habitat bagi berbagai kelompok makrozoobentos, terutama organisme yang hidup dengan cara menggali atau berada di antara butiran sedimen. Polychaeta, Bivalvia, dan Gastropoda merupakan beberapa kelompok yang dapat memanfaatkan kondisi tersebut untuk mencari makanan, berlindung, maupun menempati ruang di dalam substrat (Sahari *et al.*, 2025). Sementara itu, persentase jenis sedimen debu yang tidak terlalu tinggi menunjukkan bahwa kemampuan sedimen

dalam menahan dan mengakumulasi bahan organik relatif terbatas. Kondisi ini sejalan dengan rendahnya kandungan bahan organik total (BOT) yang ditemukan pada lokasi penelitian, sehingga penumpukan bahan organik di dasar perairan relatif kecil (Kristiana *et al.*, 2025).

Komposisi sedimen tersebut secara umum masih menyediakan habitat yang sesuai bagi kehidupan makrozoobentos. Sedimen yang didominasi pasir memiliki permeabilitas dan aerasi yang relatif baik, sehingga memungkinkan air dan oksigen masuk melalui ruang antarbutir dan mendukung organisme yang hidup di dalam sedimen (Usman, 2022). Dengan demikian, komposisi sedimen di Pulau Merak Besar tidak hanya menggambarkan karakteristik fisik dasar perairan, tetapi juga berperan dalam menentukan keberadaan dan distribusi makrozoobentos. Dominasi pasir berdebu dan rendahnya kandungan BOT diperkirakan lebih mendukung organisme yang mampu memanfaatkan substrat berpasir, sementara rendahnya akumulasi bahan organik dapat membatasi kelimpahan organisme yang bergantung pada bahan organik sebagai sumber makanan.

### Kelimpahan Makrozoobentos

Kelimpahan makrozoobentos merupakan salah satu parameter biologis yang penting dalam menilai kondisi ekosistem perairan, karena mencerminkan respons organisme terhadap faktor lingkungan di sekitarnya. Data kelimpahan makrozoobentos pada setiap stasiun pengamatan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kelimpahan Makrozoobentos

Berdasarkan Gambar 3, nilai kelimpahan makrozoobentos cukup bervariasi antarstasiun, dengan rentang 558-1171 ind/m². Nilai tertinggi ditemukan di Stasiun 3, sementara nilai

terendah tercatat di Stasiun 1. Perbedaan ini mengisyaratkan bahwa tingkat kesesuaian lingkungan pada masing-masing stasiun tidak sama dalam mendukung kehidupan organisme benthik, mengingat pola sebaran dan kepadatan makrozoobentos umumnya dibentuk oleh kombinasi faktor fisika, kimia, dan kondisi substrat perairan (Harahap, 2022).

Tingginya kelimpahan makrozoobentos di Stasiun 3 diiringi dengan nilai bahan organik total (BOT) yang lebih tinggi. Kondisi habitat yang relatif mendukung ini menyediakan BOT sebagai sumber energi bagi makrozoobentos (Setyowati *et al.*, 2025). Namun, BOT belum tentu menjadi faktor utama penentu kelimpahan tersebut, mengingat nilainya di seluruh stasiun relatif seragam (1,94-2,32%). Di sisi lain, susunan substrat turut berperan menyediakan ruang hidup dan tempat berlindung yang berdampak pada kelimpahan biota benthik (Arya *et al.*, 2022).

Sebaliknya, rendahnya angka kelimpahan yang tercatat di Stasiun 1 mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan di titik tersebut tergolong kurang mendukung. Kondisi ini diduga berkaitan dengan terbatasnya ketersediaan bahan organik, ditambah lokasi stasiun yang berada di kawasan wisata. Minimnya sumber makanan serta kondisi lingkungan yang kurang stabil pada gilirannya dapat menekan jumlah populasi organisme benthik (Hellen *et al.*, 2020). Selain itu, faktor kandungan oksigen terlarut dan pergerakan sedimen juga turut memberi pengaruh terhadap kepadatan makrozoobentos di suatu perairan (Nurhaliza *et al.*, 2025). Kondisi semacam ini pada akhirnya membuat sebaran individu antarstasiun pengamatan menjadi tidak merata.

Secara keseluruhan, perbedaan angka kelimpahan mencerminkan variasi kondisi habitat di tiap stasiun, baik dari segi mutu perairan maupun karakter sedimen. Temuan ini sejalan dengan prinsip ekologi benthik bahwa pola kelimpahan dan sebaran makrozoobentos ditentukan oleh interaksi berbagai faktor lingkungan, khususnya substrat, kandungan bahan organik, dan parameter kualitas perairan (Aulia *et al.*, 2020).

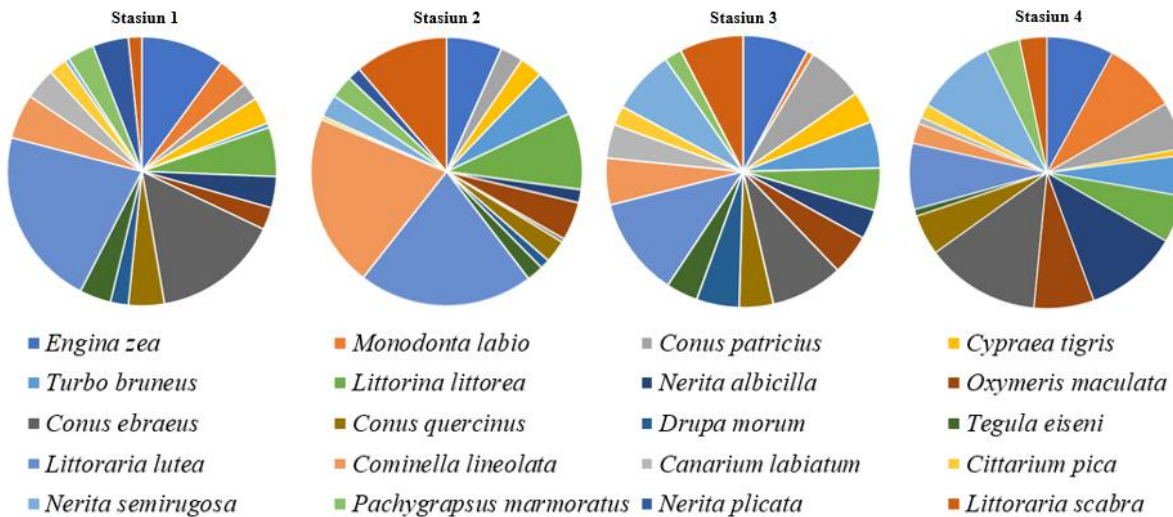
### Komposisi Jenis

Komposisi makrozoobentos yang ditemukan pada tiap stasiun memperlihatkan perbedaan, baik dalam jumlah jenis maupun

proporsi kelimpahannya. Kondisi tersebut diduga berkaitan dengan perbedaan karakteristik habitat, kondisi lingkungan, ketersediaan sumber makanan, serta intensitas aktivitas manusia di sekitar lokasi pengamatan (Sembiring *et al.*, 2026). Perbandingan proporsi kelimpahan masing-masing spesies pada setiap stasiun ditampilkan pada Gambar 4.

Persentase kelimpahan tiap jenis makrozoobentos pada masing-masing stasiun

pengamatan disajikan dalam bentuk diagram lingkaran, dengan tujuan memperlihatkan porsi setiap spesies terhadap keseluruhan komunitas yang berhasil diidentifikasi. Data tersebut memberikan gambaran mengenai jenis-jenis yang paling banyak ditemukan maupun yang keberadaannya sangat jarang di tiap lokasi, sekaligus mencerminkan sejauh mana kesesuaian habitat bagi masing-masing organisme.



Gambar 4. Nilai Komposisi Jenis Makrozoobentos

Pada Stasiun 1, *Littoraria lutea* ditemukan sebagai spesies dengan persentase tertinggi, yakni mencapai 22%, sementara *Drupa morum* tercatat sebagai yang terendah dengan hanya 1%. Tingginya angka kelimpahan *Littoraria lutea* pada lokasi ini sejalan dengan sifat famili Littorinidae yang dikenal memiliki daya toleransi luas terhadap perubahan suhu, salinitas, maupun paparan udara ketika air surut, sehingga sanggup bertahan pada zona intertidal yang menerima tekanan aktivitas wisata secara langsung (Adhirajasa *et al.*, 2025).

Pada Stasiun 2, dua spesies sekaligus *Littoraria lutea* dan *Cominella lineolata* sama-sama menempati posisi tertinggi dengan persentase masing-masing 21%, sedangkan beberapa spesies seperti *Monodonta labio* dan *Conus ebraeus* tercatat tidak ditemukan sama sekali (0%). Tingginya kelimpahan *Cominella lineolata* semakin memperkuat pembahasan sebelumnya terkait kelompok oportunistik, mengingat spesies pemakan detritus ini diuntungkan oleh melimpahnya bahan organik

hasil penguraian serasah mangrove di sekitar Stasiun 2 (Nur, 2017).

Pada Stasiun 3, *Littoraria lutea* kembali menjadi spesies dengan persentase tertinggi, meski hanya sebesar 12%, sementara *Nerita plicata* tercatat sebagai yang terendah dengan persentase 0%. Pola dominansi yang tidak terlalu mencolok ini selaras dengan temuan sebelumnya, di mana Stasiun 3 memiliki nilai indeks keanekaragaman dan keseragaman paling tinggi dibandingkan stasiun lain, yang mengindikasikan kondisi habitat cukup stabil dan minim tekanan aktivitas manusia secara langsung (Kadim & Pasingi, 2024).

Pada Stasiun 4, *Conus ebraeus* tampil sebagai spesies paling dominan dengan persentase 13%, sedangkan *Drupa morum* dan *Nerita plicata* sama-sama tercatat sebagai yang terendah dengan persentase 0%. Dominansi *Conus ebraeus* pada stasiun yang berhadapan langsung dengan aktivitas Pelabuhan Merak diduga berkaitan dengan karakteristik lokasi tersebut, sejalan dengan sifat genus *Conus* yang secara umum mampu bertahan pada kondisi

lingkungan yang cukup dinamis, dan tetap berkembang meski berada di lokasi dengan tekanan antropogenik tinggi seperti tumpahan minyak dan limbah domestik (Karubuy *et al.*, 2023).

Secara umum, *Littoraria lutea* menjadi salah satu spesies yang paling banyak menyusun komunitas makrozoobentos karena ditemukan dengan proporsi relatif tinggi pada tiga stasiun, yaitu Stasiun 1, 2, dan 3. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa spesies dari famili Littorinidae memiliki kemampuan adaptasi yang cukup baik terhadap perubahan kondisi lingkungan di wilayah pesisir (Ayzah *et al.*, 2024). Sementara itu, keberadaan beberapa spesies yang tidak ditemukan pada stasiun tertentu menunjukkan adanya perbedaan kesesuaian habitat antarspesies. Variasi karakteristik substrat dan tingkat gangguan lingkungan pada setiap stasiun diduga turut memengaruhi keberadaan serta pola distribusi makrozoobentos di lokasi penelitian.

#### Struktur Komunitas Makrozoobentos

Nilai indeks keanekaragaman, keseragaman, dan dominansi makrozoobentos pada masing-masing stasiun disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Indeks keanekaragaman, indeks keseragaman, dan indeks dominansi

| Nilai | Stasiun |      |      |      |
|-------|---------|------|------|------|
|       | 1       | 2    | 3    | 4    |
| H'    | 2,62    | 2,40 | 2,82 | 2,68 |
| E     | 0,87    | 0,80 | 0,94 | 0,89 |
| C     | 0,10    | 0,12 | 0,06 | 0,08 |

Nilai indeks keanekaragaman (H') pada seluruh stasiun pengamatan berada dalam rentang 2,40-2,82, yang bila mengacu pada kategorisasi yang ada tergolong tingkat keanekaragaman sedang. Stasiun 3 mencatat nilai paling tinggi, sedangkan Stasiun 2 menempati posisi terendah. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah jenis dan proporsi individu antarjenis makrozoobentos di lokasi penelitian relatif bervariasi antarstasiun (Nisara *et al.*, 2024). Nilai H' yang lebih tinggi di Stasiun 3 mencerminkan susunan jenis yang lebih beragam pada lokasi tersebut, sementara nilai yang lebih rendah di Stasiun 2 mencerminkan keragaman jenis yang relatif lebih terbatas.

Sementara itu, indeks keseragaman (E) tercatat pada kisaran 0,80-0,94 di semua stasiun pengamatan, dengan nilai tertinggi ditemukan di Stasiun 3 dan nilai terendah di Stasiun 2. Angka keseragaman yang mendekati nilai satu ini menunjukkan bahwa sebaran individu antarjenis berlangsung relatif merata pada seluruh stasiun, tanpa satu jenis pun yang secara numerik menguasai komunitas (Padang *et al.*, 2025). Nilai E yang sedikit lebih rendah di Stasiun 2 dibandingkan stasiun lain menunjukkan proporsi individu antarjenis yang tidak semerata stasiun lainnya.

Adapun indeks dominansi (C) berada pada rentang 0,06-0,12, yang tergolong kategori rendah, dengan nilai tertinggi berada di Stasiun 2 dan nilai terendah di Stasiun 3. Kondisi ini mengindikasikan bahwa struktur komunitas makrozoobentos berada dalam keadaan yang relatif seimbang, di mana tidak ada satu atau beberapa spesies tertentu yang secara numerik mendominasi populasi secara ekstrem (Apriadi *et al.*, 2020). Rentang nilai dominansi yang mendekati nol ini mencerminkan tingginya pemerataan antarspesies, sehingga kontribusi kelimpahan terbagi secara proporsional di antara populasi yang ada (Wijayanti *et al.*, 2025).

Apabila ketiga indeks tersebut ditinjau secara bersamaan, Stasiun 3 secara konsisten menunjukkan nilai H' dan E tertinggi disertai nilai C terendah, sedangkan Stasiun 2 menunjukkan pola sebaliknya pada ketiga indeks tersebut. Pola ini menggambarkan perbedaan struktur komunitas makrozoobentos antarstasiun dari segi jumlah jenis, pemerataan, dan konsentrasi individu pada jenis tertentu, namun tidak dapat digunakan sebagai diagnosis tunggal mengenai ada-tidaknya maupun berat-ringannya tekanan pencemaran di masing-masing lokasi. Penilaian kondisi ekologis yang lebih menyeluruh, termasuk terkait tingkat gangguan/pencemaran, memerlukan tinjauan bersama dengan indeks biotik seperti AMBI serta parameter lingkungan yang diukur pada tiap stasiun, sebagaimana diuraikan pada bagian berikutnya (Bai'un *et al.*, 2021).

#### Makrozoobentos sebagai Bioindikator

Keberadaan makrozoobentos dalam suatu perairan dapat mencerminkan kondisi lingkungan yang memengaruhi organisme benthik. Pendekatan biologis melalui

pengamatan kelimpahan dan struktur komunitas organisme akuatik juga dapat digunakan untuk mendukung evaluasi kondisi ekologis dan monitoring kualitas perairan (Sentosa *et al.*, 2025). Setiap spesies memiliki tingkat kemampuan adaptasi yang berbeda terhadap tekanan lingkungan, sehingga membentuk kelompok ekologis berdasarkan tingkat toleransinya (Sianturi *et al.*, 2025).

Berdasarkan hasil identifikasi, spesies makrozoobentos yang ditemukan pada keempat stasiun penelitian dikelompokkan ke dalam tiga kelompok ekologis AMBI, yaitu Group II (indiferen), Group III (toleran), dan Group IV (oportunistik tingkat kedua), sedangkan Group I (sensitif) dan Group V (oportunistik tingkat pertama) tidak dijumpai pada seluruh stasiun penelitian, sebagaimana disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Klasifikasi Spesies Makrozoobentos Berdasarkan Indeks AMBI

| Sifat             | Spesies                        | Total (individu) |
|-------------------|--------------------------------|------------------|
| II (Indiferen)    | <i>Monodonta labio</i>         | 263              |
|                   | <i>Cypraea tigris</i>          |                  |
|                   | <i>Turbo bruneus</i>           |                  |
|                   | <i>Nerita albicilla</i>        |                  |
|                   | <i>Tegula eiseni</i>           |                  |
|                   | <i>Canarium labiatum</i>       |                  |
|                   | <i>Cittarium pica</i>          |                  |
|                   | <i>Cellana testudinaria</i>    |                  |
|                   | <i>Nerita plicata</i>          |                  |
| III (Toleran)     | <i>Conus patricius</i>         | 537              |
|                   | <i>Littorina littorea</i>      |                  |
|                   | <i>Oxymeris maculata</i>       |                  |
|                   | <i>Conus ebraeus</i>           |                  |
|                   | <i>Conus quercinus</i>         |                  |
|                   | <i>Drupa morum</i>             |                  |
|                   | <i>Littoraria lutea</i>        |                  |
|                   | <i>Pachygrapsus marmoratus</i> |                  |
|                   | <i>Littoraria scabra</i>       |                  |
| IV (Oportunistik) | <i>Engina zea</i>              | 166              |
|                   | <i>Cominella lineolata</i>     |                  |

Sebanyak 20 spesies makrozoobentos berhasil diidentifikasi selama penelitian berlangsung, yang seluruhnya tergolong ke dalam tiga kelompok ekologis AMBI, yaitu Group II (Indiferen), Group III (Toleran), dan Group IV (Oportunistik tingkat kedua), sedangkan Group I (Sensitif) dan Group V (Oportunistik tingkat pertama) tidak ditemukan pada seluruh stasiun penelitian. Gastropoda menjadi kelas yang paling banyak dijumpai pada Group II yang diwakili oleh sembilan spesies, dengan total 263 individu. Seluruh spesies pada kelompok ini berasal dari kelas Gastropoda, yang umumnya memiliki toleransi dan tingkat adaptasi tinggi terhadap perubahan lingkungan serta bersifat *ubiquitous*, sehingga kelompok ini kerap dijumpai dalam kondisi perairan normal maupun yang mengalami sedikit tekanan tanpa menunjukkan perubahan

kepadatan populasi yang berarti (Sahari *et al.*, 2025). Kehadiran Group II dengan jumlah spesies yang cukup tinggi ini mengindikasikan bahwa kondisi dasar perairan pada lokasi penelitian masih mampu mendukung kehidupan spesies-spesies yang tidak memberikan respons ekologis signifikan terhadap pengayaan bahan organik, sesuai dengan definisi kelompok indiferen dalam kerangka klasifikasi AMBI (Borja *et al.*, 2000).

Group III merupakan kelompok dengan jumlah individu terbanyak pada penelitian ini, yaitu 537 individu yang berasal dari sembilan spesies. Tingginya jumlah individu pada kelompok ini, termasuk kehadiran empat spesies dari genus *Conus* dan dua spesies dari genus *Littoraria*, sejalan dengan karakteristik dasar Group III yang justru mengalami peningkatan kelimpahan ketika terjadi

pengayaan bahan organik tingkat sedang di sedimen (Borja *et al.*, 2000). Dominasi kelompok toleran pada seluruh stasiun ini menjadi salah satu dasar utama nilai AMBI yang dihasilkan, di mana proporsi Group III yang tinggi turut menempatkan seluruh stasiun pada kategori "Sedikit Tercemar" berdasarkan klasifikasi yang digunakan.

Group IV pada penelitian ini hanya terdiri atas dua spesies, yaitu *Engina zea* dan *Cominella lineolata*, namun dengan total 166 individu. Rendahnya jumlah spesies yang diimbangi oleh tingginya jumlah individu ini merupakan pola umum yang dijumpai pada kelompok oportunistik tingkat kedua, di mana spesies-spesies yang mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang mulai tertekan justru berkembang biak dengan cepat dan mendominasi secara numerik dibandingkan kelompok sensitif maupun indifferen (Djalo, 2026). Kehadiran Group IV dalam jumlah individu yang cukup besar, meskipun hanya diwakili dua spesies, mengindikasikan adanya tekanan lingkungan yang lebih tinggi dibandingkan kondisi optimal, namun belum mencapai taraf yang ekstrem, mengingat tidak ditemukannya Group V (oportunistik tingkat pertama) yang biasanya menjadi indikator utama pencemaran organik berat pada suatu perairan (Rahardjanto, 2019).

Tabel 7. Proporsi Kelompok Ekologis Makrozoobentos Berdasarkan Indeks AMBI per Stasiun

| Group | Stasiun |       |       |       |
|-------|---------|-------|-------|-------|
|       | 1       | 2     | 3     | 4     |
| II    | 25,5%   | 16,7% | 31,2% | 39,3% |
| III   | 59,0%   | 55,8% | 55,5% | 50,0% |
| IV    | 15,4%   | 27,5% | 13,3% | 10,7% |
| AMBI  | 2,848   | 3,163 | 2,732 | 2,570 |

Pada Stasiun 1, proporsi Group III (toleran) tercatat sebesar 59,0%, Group II (indifferen) sebesar 25,5%, dan Group IV (oportunistik) sebesar 15,4%. Dominasi Group III yang mencapai lebih dari separuh total individu ini mengindikasikan bahwa kondisi Stasiun 1 sesuai dengan kategori "sedikit tercemar" pada nilai AMBI sebesar 2,848 (Borja *et al.*, 2000). Hal ini disebabkan karena bahan organik yang berasal dari aktivitas pariwisata dan aktivitas domestik di sekitarnya berpotensi masuk ke badan perairan dan menurunkan kualitas

lingkungan secara bertahap (Ariaz *et al.*, 2024). Sumber bahan organik tersebut umumnya berasal dari sampah pengunjung, termasuk sisa makanan dan minuman kemasan yang dibawa masuk ke area wisata dan berpotensi mencemari perairan di sekitarnya (Lahata *et al.*, 2026). Meskipun demikian, proporsi Group IV yang relatif rendah menunjukkan bahwa tekanan dari aktivitas wisata belum mendorong komunitas ke arah dominasi kelompok oportunistik secara ekstrem, sehingga kondisi ekologis Stasiun 1 masih tergolong dalam batas sedikit tercemar (Borja *et al.*, 2000).

Stasiun 2 yang terletak di kawasan pesisir hutan mangrove menunjukkan proporsi Group IV (oportunistik) tertinggi di antara seluruh stasiun, yaitu sebesar 27,5%, sementara Group III sebesar 55,8% dan Group II sebesar 16,7% (terendah di antara seluruh stasiun). Tingginya proporsi Group IV ini mengindikasikan bahwa Stasiun 2 memiliki nilai AMBI tertinggi (3,163), meskipun tetap berada dalam kategori "sedikit tercemar" (Borja *et al.*, 2000). Hal ini disebabkan karena kandungan bahan organik pada substrat memiliki keterkaitan erat dengan komposisi dan kelimpahan gastropoda maupun makrozoobentos di kawasan bervegetasi mangrove, sebagai sumber makanan utama bagi organisme benthik yang hidup di dalamnya (Isman *et al.*, 2018). Ekosistem mangrove secara alami menghasilkan pasokan bahan organik yang tinggi dan berkelanjutan dari proses dekomposisi serasah daun, sehingga substrat di lokasi ini cenderung lebih kaya bahan organik dibandingkan stasiun lain (Sari *et al.*, 2017).

Stasiun 3 bertepatan dengan minimnya aktivitas di sekitarnya, memiliki proporsi Group II (indifferen) tercatat sebesar 31,2%, tertinggi kedua di antara seluruh stasiun, dengan proporsi Group III sebesar 55,5% dan Group IV sebesar 13,3%. Proporsi Group II yang cukup tinggi dan Group IV yang rendah ini mengindikasikan bahwa Stasiun 3 memiliki nilai AMBI yang relatif rendah (2,732) dalam kategori "sedikit tercemar" (Borja *et al.*, 2000). Hal ini disebabkan karena Group II merupakan kelompok yang tidak menunjukkan respons signifikan terhadap pengayaan bahan organik, sehingga kepadatannya relatif stabil pada kondisi lingkungan yang belum menerima tekanan tambahan dari luar (Mohammad *et al.*, 2024). Minimnya aktivitas di sekitar lokasi

membuat substrat tidak menerima pasokan bahan organik tambahan secara signifikan, sehingga komunitas makrozoobentos didominasi oleh kelompok yang tidak bergantung pada kondisi pengayaan bahan organik untuk berkembang, mencerminkan kondisi lingkungan yang relatif stabil dan mendekati kondisi alami dibandingkan stasiun lainnya (Isnaini *et al.*, 2026).

Pola yang menarik justru ditemukan pada Stasiun 4, yang berhadapan langsung dengan pelabuhan dan dilalui jalur pelayaran kapal domestik. Proporsi Group II (indiferen) di stasiun ini tercatat sebesar 39,3%, tertinggi di antara seluruh stasiun, sementara Group III sebesar 50,0% dan Group IV sebesar 10,7% (terendah di antara seluruh stasiun). Tingginya proporsi Group II dan rendahnya proporsi Group IV ini mengindikasikan bahwa Stasiun 4 memiliki nilai AMBI terendah (2,570) di antara seluruh stasiun, meski tetap berada dalam kategori "sedikit tercemar" (Borja *et al.*, 2000). Hal ini diduga disebabkan karena kawasan sekitar pelabuhan cenderung menunjukkan perubahan pada parameter fisika dan kimia air laut sebagai respons terhadap aktivitas manusia, yang tidak selalu berupa peningkatan bahan organik, melainkan dapat berupa gangguan bersifat fisik (Hirano *et al.*, 2018). Karakteristik habitat, kondisi sedimen, dan dinamika perairan di kawasan pelabuhan dapat memengaruhi keberadaan organisme benthik melalui mekanisme yang berbeda dari sekadar pengayaan bahan organik semata (Sundoko *et al.*, 2025). Dengan demikian, rendahnya nilai AMBI di Stasiun 4 tidak serta-merta menunjukkan bahwa lokasi ini bebas dari tekanan antropogenik, melainkan mengindikasikan bahwa jenis tekanan yang dominan di kawasan pelabuhan berbeda karakteristiknya dengan tekanan pengayaan bahan organik yang menjadi dasar penilaian AMBI (Rosdatina *et al.*, 2019).

## SIMPULAN

Berdasarkan penelitian di Pesisir Pulau Merak Besar pada Januari 2026, parameter fisika-kimia perairan secara umum masih memenuhi baku mutu air laut untuk biota laut berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004.

Namun, nilai DO di Stasiun 1 berada pada batas minimum 5 mg/L, yang mengindikasikan potensi tekanan lingkungan. Berdasarkan indeks AMBI, seluruh stasiun tergolong sedikit tercemar (2,570–3,163), dengan dominasi makrozoobentos Group III yang bersifat toleran. Perbedaan hasil kedua pendekatan menunjukkan bahwa parameter fisika-kimia menggambarkan kondisi perairan pada saat pengukuran, sedangkan AMBI merefleksikan respons ekologis komunitas makrozoobentos terhadap kondisi lingkungan. Dengan demikian, AMBI berpotensi digunakan sebagai salah satu pendekatan dalam penilaian kondisi ekologis pesisir, tetapi perlu dilengkapi dengan penghitungan Indeks Pencemaran dan pemantauan berkala, terutama di Stasiun 1 yang menunjukkan nilai DO mendekati ambang minimum.

## DAFTAR PUSTAKA

- [KLH] Kementerian Negara Lingkungan Hidup. (2004). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut.
- Adhirajasa AK, Munasik RH, & Hartati R. (2025). Hubungan Kerapatan Mangrove dengan Kelimpahan Gastropoda di Muara Sungai Dusun Tapak, Semarang. *Journal of Marine Research*, 14, (1), 135-144.
- Afiyah AR. (2024). Analisis Penyebaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Sedimen di Perairan Sungai Tallo Menggunakan MIKE 21. *Skripsi*. Universitas Hasanuddin.
- Agustina R. (2022). Struktur Komunitas Makrozoobentos di Perairan Pantai Desa Merak Belantung, Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Ahmad J, Handayani L, Anjasmara AS, Zubaidah A, Mahmud MB, Septiana

- S, Yunus YE. (2024). Kualitas Air dalam Akuakultur. *Kamiya Jaya Aquatic*.
- Alfatihah A, Latuconsina H, Prasetyo HD. (2022). Analisis Kualitas Air berdasarkan Parameter Fisika dan Kimia di Perairan Sungai Patrean Kabupaten Sumenep. *AQUACOASTMARINE: Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 1,(2), 76-84.
- Apriadi T, Muzammil W, Melani WR, Safitri A. (2020). Struktur komunitas makrozoobenthos di aliran sungai di Senggarang, Pulau Bintan, Kepulauan Riau. *DEPIK Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*, 9, (1), 119-130.
- Arbi UY, Wirawati I, Widyastuti E, Hadiyanto H, Ibrahim PS, Vimono IB, Sani SY. (2022). *Fauna Bentos Ekosistem Pesisir Indonesia*. Sukoharjo: CV. Epigraf Komunikata Prima.
- Ariaz PA, Zulkifli Z, Efriyeldi E. (2024). Macrozoobenthos Community Structure at Teluk Marunggai Beach, Nagari Sungai Nyalo, Pesisir Selatan District, West Sumatera Province. *Tropical Marine Environmental Sciences*, 2, (2), 42-50.
- Arya DB, Vincent SGT, Godson PS. (2022). *Benthic biotopes: abiotic and biotic factors in the sediment*. In *Ecology and biodiversity of benthos*. Elsevier.
- Aulia PR, Supratman O, Gustomi A. (2020). Struktur Komunitas Makrozoobentos Sebagai Bioindikator Kualitas Perairan Di Sungai Upang Desa Tanah Bawah Kecamatan Puding Besar Kabupaten Bangka: The Community Structure of Macrozoobenthos As The Bioindicator Of The Water Quality In Upang Stream Tanah Bawah Villag Puding Besar Sub District Bangka Regency. *Aquatic Science*, 2, (1), 17-29.
- Ayzah DKA, Safitri I, Nurdiansyah SI, & Handayani C. (2024). Komposisi Gastropoda Littorinidae Di Ekosistem Mangrove Desa Sutera Kayong Utara. *Oceanologia*, 3, (2), 60-64.
- Azuga NA, Fauzan I, Ilahi I, Zulkifli Z, Khaira AU, Sari GP. (2025). Analisis Hubungan Karakteristik Sedimen dan Kandungan Bahan Organik Terhadap Distribusi Makrozoobentos di Desa Pambang Pesisir Kabupaten Bengkalis. *Jurnal Pasir Laut*, 9, (2), 81-88.
- Bai'un NH, Riyantini I, Mulyani Y, Zallesa S. (2021). Keanekaragaman makrozoobentos sebagai indikator kondisi perairan di ekosistem mangrove Pulau Pari, Kepulauan Seribu. *JFMR (Journal of Fisheries and Marine Research)*, 5, (2), 227-238.
- Barus BS, Aryawati R, Putri WAE, Nurjuliasti E, Diansyah G, Sitorus E. (2019). Hubungan N-total dan C-organik Sedimen dengan Makrozoobentos di Perairan Pulau Payung, Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 22, (2), 147-156.
- Borja A, Franco J, Pérez V. (2000). A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine pollution bulletin*, 40, (12), 1100-1114.
- Brower JE & Zar JH. (1990). *Fields and Laboratory For General Ecology*. 3rd ed. Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown Publisher.
- Djalo A. (2026). *GASTROPODA: Keanekaragaman, Biologi, Ekologi, dan Tantangan Konservasi*. Penerbit KBM Indonesia.
- Hanafiah Z, Sarno S, Nofyan E. (2023). Struktur komunitas cacing laut (Polychaeta) di perairan pantai

- mangrove Taman Nasional Berbak Sembilang, Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*, 25, (3), 291-297.
- Harahap A. (2022). The Diversity Of Macrozoobenthos River Aek Buru District Labuhan Batu Utara. *International Journal of Science, Technology & Management*, 3, (1), 292-298.
- Harahap MKA, Rudiyaniti S, Widyorini N. (2020). Analisis kualitas perairan berdasarkan konsentrasi logam berat dan indeks pencemaran di sungai banjir kanal timur Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, 4, (2), 108-115.
- Hellen A, Kisworo K, Rahardjo D. (2020). Komunitas makroinvertebrata bentik sebagai bioindikator kualitas air Sungai Code. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 6, (1), 294-303.
- Hirano H, Semura D, Sakamoto K, Toyama T, Setiamarga DHE. (2018). Dynamic changes of organic content over time in the sea sludge collected from the Gobo/Hidaka coastal area in Wakayama, southwest Japan. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 176, (1), 12007.
- Humairani DS, Firdaus AN, Tumembouw SS, Nurkamilah BT, Cahyo AMUD, Idris R, Maryan L. (2026). *Parameter Kualitas Air*. LSO Creative.
- Idris MA, Langsa PK, Treeza YA, Nabila FNZ, Panggabean CR, Andini NF, Mualimin M. (2025). Plankton and Macrozoobenthos as Bioindicators of Water Quality in the Gendol River, Yogyakarta. *Jurnal Biologi Tropis*, 25, (4b), 851-861.
- Isman M, Mashoreng S, Werorilangi S, Isyrini R, Rastina R, Faizal A, Burhanuddin AI. (2018). Macrozoobenthic Community in Different Mangrove Condition: Relation with Chemical-Physical Sediment Characteristics. *Torani Journal of Fisheries and Marine Science*, 40-47.
- Isnaini I, Aryawati R, Sitorus NC, Melki M, Prasetyo AT, Rozirwan R, Nugroho RY. (2026). Keterkaitan Jenis Sedimen dan Kandungan C-organik dengan Komunitas Makrozoobentos Epifauna di Tanjung Carat, Sumatera Selatan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 8, (1), 72-82.
- Kadim MK & Pasisingi N. (2024). Kondisi habitat fisik dan keanekaragaman makroinvertebrata sebagai indikator pencemaran di sungai Bone Gorontalo. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23, (3), 301-310.
- Karubuy RIS, Manan J, Manangkalangi E, Sembel L, Saleky D. (2023). Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) pada Gastropoda *Conus* spp. di Hamparan Lamun Perairan Pesisir Manokwari, Propinsi Papua Barat. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26, (3), 433-441.
- Krebs CJ. (1989). *Ecological methodology*. Harper Collins Publishers. Inc., New York.
- Kristiana I, Ode I, Septiana S, Anggoro AD, Octoriani W, Adimu HE, Hanifa I. (2025). *Benthologi: Studi Ekosistem Dasar Perairan*. Kamiya Jaya Aquatic.
- Kurtarkar SR, Kaithwar A & Saraswat R. (2024). Response of inner shelf benthic foraminiferal community to different concentrations of dissolved oxygen under laboratory culture experiment. *Journal of the Palaeontological Society of India*, 69, (1), 5-20.
- Lahata AP, Majid R, Yasnani Y. (2026). Analysis of Tourism Remaining Waste Management on The Health of Coastal Communities in Leppe Village, Soropia District, Konawe Regency in 2026. *Journal of*

- Humanities and Social Studies, 4, (1), 48-66.
- Marcelino N, Apriadi T, Melani WR. (2023). Makrozoobentos Sebagai Bioindikator Kualitas Perairan di Perairan Kelam Pagi Kelurahan Dompok, Kepulauan Riau. *Jurnal Akuatiklestari*, 6, 124-132.
- Marhasova V, Garafonova O, Derii Z & Rudenko O. (2022). Scientific research methodology as a general approach and perspective of the research process. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*, 312, (6), 2.
- Maula LH. (2018). Keanekaragaman Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air Sungai Cokro Malang. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Mohammad DA, Al-Farga A, Sami M. (2024). Experimental study of organic enrichment on meiofaunal diversity. *Scientific Reports*, 14, (1), 10681.
- Naufalina NE, Marwoto J, Rochaddi B. (2022). Analisis sebaran sedimen berdasarkan ukuran butir di perairan Pantai Baron, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4, (2), 61-67.
- Nisara IJP, Mz N, Supendi A, Octorina P. (2024). Kelimpahan Makrozoobentos di Situ Cijeruk Kabupaten Sukabumi. *Zebra: Jurnal Ilmu Peternakan dan Ilmu Hewani*, 2, (2), 83-98.
- Nur AC. (2017). Studi Kondisi Ekosistem Mangrove dan Produksi Detritus di Pesisir Kelurahan Lalowaru Kecamatan Moramo Utara Kabupaten Konawe Selatan. *Jurnal Manajemen Sumber Daya Perairan*, 1, (4), 439-450.
- Nurhaliza S, Bustamin B, Rauf A, Nurdin M, Sabran M, Agni R. (2025). Kepadatan Makrozoobentos di Perairan Sungai Desa Toaya Kecamatan Sindue Kabupaten Donggala. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13, (2), 754-762.
- Nurtika A. (2024). Komposisi dan Kelimpahan Makrozoobentos pada Tingkat Kerapatan Lamun di Perairan Pulau Lae-Lae Kota Makassar. *Skripsi*. Universitas Hasanuddin.
- Odum EP. (1993). *Dasar-dasar ekologi. Edisi Ketiga. Diterjemahkan oleh T.Samingan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Padang A, Wasahua J, Sangadji M, Sofian Y. (2025). Komunitas Gastropoda di Zona Intertidal Kilbutak, Seram Timur: Struktur dan Dinamiknya. *JUSTE (Journal of Science and Technology)*, 5, (2), 97-109.
- Pramithasari FA, Hasanah PA, Simanjuntak RF, Farid A. (2025). Assessing the environmental quality status of two coastal areas at Bangkalan Regency using the appearance of macrozoobenthos. In *BIO Web of Conferences*, 188, (1), 1005.
- Purba IR. (2022). *Makrozoobentos sebagai Bioindikator Kualitas Air*. Cv. Azka Pustaka.
- Rahardjanto A. (2019). *BIOINDIKATOR (Teori Dan Aplikasi Dalam Biomonitoring)*. Edisi Pertama. UMMPress.
- Ramadani UP, Muthmainnah R, Ulhilma N, Wazabirah A, Hidayatullah R, Harmonedi H. (2025). Strategi Penentuan Populasi dan Sampel dalam Penelitian Pendidikan: Antara Validitas dan Representativitas. *QOSIM: Jurnal Pendidikan Sosial & Humaniora*, 3, (2), 574-585.
- Rosdatina Y, Apriadi T, Melani WR. (2019). Makrozoobentos Sebagai Bioindikator Kualitas Perairan Pulau Penyengat, Kepulauan Riau. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of*

- Environmental Sustainability Management*), 309-317.
- Sahari S, Landu A, Sundoko A, Ikhsan N, Takene DE, Iqbal TH & Abubakar Y. (2025). *Dinamik populasi dan ekosistem perairan*. Kamiya Jaya Aquatic.
- Sahidin A, Zahidah Z, Herawati H, Wardiatno Y, Setyobudiandi, I, Partasasmita R. (2018). Macrozoobenthos as bioindicator of ecological status in Tanjung Pasir Coastal, Tangerang District, Banten Province, Indonesia. *Biodiversitas*, 19, (3), 1123-1129.
- Sari KW, Yunasfi Y, Suryanti A. (2017). Dekomposisi serasah daun mangrove *Rhizophora apiculata* di Desa Bagan Asahan, Kecamatan Tanjungbalai, Kabupaten Asahan, Provinsi Sumatera Utara. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 88-94.
- Sembiring K, Khoerunnisa M & Baswantara A. (2026). Karakteristik Biota Perairan dan Kondisi Lingkungan sebagai Dasar Pengelolaan Sumber Daya Perikanan di Ekosistem Mangrove Mangkang Wetan, Semarang. *Jurnal Manajemen Pesisir dan Laut*, 4, (1), 1-18.
- Sentosa, A. A., Suryandari, A., Hadi, A., Putri, D. A., Gumilang, A. P., Kusumaningtyas, D. I., ... & Astuti, I. R. (2025). The Abundance and Community Structure of Phytoplankton in the Ir. H. Djuanda Reservoir Following the Implementation of the "Citarum Harum" Program. *Barakuda 45: Jurnal Ilmu Perikanan dan Kelautan*, 7(1), 89-102.
- Setyowati LF, Rudiyaniti S, Rahman A. (2025). Analisis Kelimpahan Makrozoobentos dan Bahan Organik Sedimen Sebagai Bioindikator Pencemaran Sungai Kreo dan Sungai Banjir Kanal Barat. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 12, (1), 13-22.
- Sianturi S, Sari IA, Wulandari T, Utami N, Nugraheni LS, Bahar I, Yulianty S. (2025). *Ekologi Hewan: Interaksi antara Hewan dan Lingkungan*. PT Bukuloka Literasi Bangsa.
- Silaban W & Silalahi MV. (2021). Analisis Kualitas Air di Perairan Danau Toba Kecamatan Pangururan, Kabupaten Samosir. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 10, (2), 299-307.
- Sundoko A, Suhanda D, Tumembouw SS, Wanimbo E, Rahardi W, Putriani RB, Ferlin A. (2025). *Ekosistem Estuari: Dinamika, Keanekaragaman Hayati dan Konservasi*. Kamiya Jaya Aquatic.
- Usman DH. (2022). Komposisi Jenis dan Kelimpahan Makrozoobentos pada Kerapatan Mangrove yang Berbeda di Pulau Sagara Kabupaten Pangkajene Kepulauan. *Skripsi*. Universitas Hasanuddin.
- Wijayanti LAS, Herawati H, Sahidin A, Pratama GB, Maharani TA, Harlina AT, Firdaus MR. (2025). Makrozoobentos Muara Bojong Salawe: Mengungkap Komposisi Genus dan Hubungannya dengan Ekosistem Perairan. *Jurnal Akuatiklestari*, 8, (2), 152-162.